5K

УДК 621.317.7.089

В.П. Куценко
[1] Науково-виробниче підприємство «Кварсит»,
Укроборонпром, м. Костянтинівка, Україна
Україна, 85104, м. Костянтинівка, Донецької обл., вул. Шмідта, 20
[2] Донецький національний технічний університет, м. Донецьк, Україна
Україна, 83000, м. Донецьк, вул. Артема, 58

Концептуальні проблеми радіометричних вимірювань низькоінтенсивних НВЧ-сигналів з періодичним порівняння

V.P. Kutsenko
[1] Scientific production enterprise of «Kvarsit», Ukroboronprom, Konstantinovka, Ukraine
Ukraine, 85104, Konstantinovka, Donetsk obl., Shmidta st, 20
[2-] the Donetsk national technical university, Donetsk, Ukraine
Ukraine, 83000, Donetsk, street of Artem, 58

Conceptual Problems of the Aerophare Measuring of Low Intensive over High-Frequency Signals with Periodic Comparison

В.П. Куценко
[1] Научно-производственное предприятие «Кварсит», Укроборонпром,
г. Константиновка, Украина
Украина, 85104, г. Константиновка, Донецкой обл., ул. Шмидта, 20
[2] Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, Украина
Украина, 83000, г. Донецк, ул. Артема, 58

Концептуальные проблемы радиометрических измерений низкоинтенсивных СВЧ-сигналов с периодическим сравнением

Розглянуті радіометричні методи вимірювання параметрів низькоінтенсивних сигналів НВЧ-діапазону з періодичним порівнянням. Досліджені джерела похибок вимірювання сигналів, які порівнювані і навіть менші рівня власних шумів вхідних елементів радіометрів. Визначено, що при комутаційно-модуляційному перетворенні низькоінтенсивних сигналів суттєвий вплив починають мати власні шуми комутуючих елементів, зокрема, теплові, а також шуми і наводки підсилювачів і інших масштабних перетворювачів одноканальних трактів. У наслідок недостатнього опрацювання в радіометрії проблем періодичного порівняння низькоінтенсивних НВЧ-сигналів, з урахуванням специфіки прикладних завдань, вимагається удосконалення теорії вимірів і перетворення параметрів цих сигналів.
Ключові слова: радіометрія, комутація, перемикач, електромагнітне випромінювання, вимірювання, шуми.

The aerophare methods of measuring of parameters are considered low intensive over high-frequency signals with periodic comparison. The sources of errors of measuring of signals comparable and even less level of own noises of entrance elements of radiometers are investigational. It is certain that at interconnect-modulation transformation low of intensive signals substantial influence is rendered by own noises of elements, in particular, thermal, and also noises and aiming of strengtheners and other scale transformers one channel highways. In investigation of the insufficient working in radiometry of problems of periodic comparison low intensive over high-frequency signals, taking into account the specific of the applied tasks, the improvement of theory of measuring and transformation of parameters of these signals is required.
Key words: radiometry, switching, switch, electromagnetic radiation, measuring, noise.

Рассмотрены радиометрические методы измерения параметров низкоинтенсивных сигналов СВЧ-диапазона с периодическим сравнением. Исследованы источники погрешностей измерения сигналов, сравнимых и даже меньше уровня собственных шумов входных элементов радиометров. Определено, что при коммутационно-модуляционном преобразовании низкоинтенсивных сигналов существенное влияние оказывают собственные шумы коммутирующих элементов, в частности, тепловые, а также шумы и наводки усилителей и других масштабных преобразователей одноканальных трактов. Вследствие недостаточной проработки в радиометрии проблем периодического сравнения низкоинтенсивных СВЧ-сигналов, с учетом специфики прикладных задач, требуется усовершенствование теории измерений и преобразования параметров данных сигналов.
Ключевые слова: радиометрия, коммутация, переключатель, электромагнитное излучение, измерение, шумы.

Вступ

Базою і водночас рушієм науково-технічного прогресу є здобутки, одержані в результаті постійного розширення сфери наукових досліджень, ускладнення завдань, які стоять перед людством при вирішенні різних проблем свого життєзабезпечення. Важливе місце у колі даних задач займають радіовимірювання параметрів низькоінтенсивних сигналів НВЧ/НЗВЧ-діапазонів (далі-НВЧ). У радіолокаційній техніці, радіоастрономії, радіопеленгації, телекомутаційних засобах зв’язку, безпечних приладах та системах діагностики людини, неруйнівного контролю складу речовин та інших галузях науки і техніки в цей час усе більшою мірою використовуються методи і засоби вимірювання потужності низькоінтенсивних сигналів НВЧ-діапазону [1-9].

Для проведення вимірювання подібних сигналів використовуються радіометричні системи (РС) з різними методами перетворення і вимірювання сигналів: компенсаційним, модуляційним, кореляційним і ін. [3], [4], [10-13]. При цьму розробляються одноканальні, двоканальні, багатоканальні вимірювальні НВЧ-системи, використовуються методи порівняння, прямого і непрямого вимірювання, дистанційного і контактного (аплікаторного) зняття інформації приймальними антенами і ін. [14-18].

Постановка задачі дослідження. Різноманіття підходів вимагає удосконалення теорії і практики вимірювання параметрів низькоінтенсивних сигналів НВЧ-діапазону методами періодичного порівняння, адаптованими під конкретні завдання.

Основна частина

Як показує практика, одним з найбільш точних методів вимірювання параметрів низькоінтенсивних сигналів НВЧ-діапазону, які здебільшого ставляться до шумових сигналів, можуть бути радіометричні методи періодичного порівняння [14], [17].

Результатом порівняння в вимірювальних РС є різницева величина, яка дозволяє керувати технологічним процесом у напрямі зближення розміру вимірювальної величини сигналу з заданою, або в інформаційній системі змінювати відому зразкову величину сигналу до *співпадання* її з вимірюваною величиною. Наявність перетворювачів, що ввімкнені перед пристроєм порівняння РС, спричинює появу додаткових похибок від неідентичності і нестабільності їх характеристик [19], [20]. Відомі методи симетрування і стабілізації характеристик парних елементів не завжди забезпечують високу точність порівняння, особливо у виробничих умовах, при наявності екстремальних впливів і завад. Тому поряд з подальшим розвитком РС одночасного порівняння НВЧ-сигналів, стали розробляти прилади з почерговим періодичним порівнянням, в яких немає парних вимірювальних перетворювачів або вимоги до ідентичності їх характеристик значно ослаблені [19], [21].

В РС одночасного порівняння вимірювана і відома величина сигналів вводяться у два вимірювальні канали, що починаються з антен (сенсорів). На виході схеми порівняння (СП) звичайно має місце електрична величина, яка пропорційна різниці миттєвих або усереднених за деякий час значень параметрів НВЧ-сигналів, що порівнюються. Якщо коефіцієнти передач елементів, що ввімкнені перед СП неоднакові, тобто має місце мультиплікативна складова похибки, то це викликає появу адитивної похибки порівняння, яка не дозволяє одержати стабільний «нуль» при рівності порівнюваних величин. Якщо ж ці перетворювачі мають неоднакові адитивні похибки, то результати порівняння ще більше спотворюються.

В РС періодичного порівняння вимірювані і відомі значення параметрів НВЧ-сигналів вводяться в СП почергово з деяким періодом повторення [22], тому, у вимірювальному тракті перетворюються не повні сигнали від порівнюваних, а їх часові відрізки. Різницева величина в цьому випадку має вигляд обвідної миттєвих або усереднених значень параметрів сигналів. Виділяючи змінну складову обвідної, одержують сигнал, пропорційний різниці порівнюваних величин. Пакети порівнюваних сигналів оброблюються одними і тими ж перетворювачами одноканальної СП і їх мультиплікативні і адитивні похибки не викликають появи адитивної похибки порівняння. Тому, РС періодичного порівняння мають високу точність та чутливість. Підвищення чутливості досягається при вибірковому підсиленні різницевого сигналу на частоті комутації порівнюваних сигналів.

Однак у схемах РС періодичного порівняння є більш низька швидкодія, тому що результат порівняння формується після кількох періодів відносно низької частоти комутації. Цей недолік вдалося ліквідувати в самоналагоджуваних і самокоригованих РС, де періодичне порівняння відбувалося в додаткової одноканальної СП, а одночасне порівняння величин — в основної РС, похибку якої коригує СП.

Враховуючи активний розвиток обчислювальної техніки в останні роки велика увага приділяється автоматизації процесів вимірювання, що тому є доцільним проведення складних розрахунків і використання алгоритмів функціонування автоматичної апаратури з вбудованими джерелами зразкових сигналів перевірки [20]. При наявності сучасної елементної бази електронної техніки найбільш складні пристрої мають багато переваг.

Періодичне порівняння в РС було застосоване вперше в 50-х роках для виділення корисних сигналів на фоні власних шумів перетворювачів, що ввімкнені перед СП. Почергове періодичне перетворення корисного сигналу дозволило виміряти радіовипромінювання галактичних об'єктів порядку $10^{-15}...10^{-25}$ Вт. В області температурних вимірювань була створена спектрометрична установка з періодичною комутацією теплових потоків від об'єкта і еталонного джерела, яка забезпечила похибку порівняння не більшу за 0,01 К.

Дослідницькі роботи із створення засобів вимірювання періодичного порівняння були розпочаті на Україні в Київському політехнічному інституті в 1951 – 1953 роках [23]. Вже на тому етапі значний вклад в методи та засоби періодичного порівняння вніс видатний український вчений проф. Скрипник Ю.О. У 60-х роках метод періодичного порівняння при його активному участі був застосований для вимірювання електричних комплексних величин. В цей же період була розпочата розробка високоточних вимірювачів параметрів змінних напруг у Львівському фізико-механічному інституті АН України. Роботи по підвищенню точності порівняння температур були продовжені також в Харкові [24].

За рахунок автоматичних перемикань порівнюваних величин і введення в РС структурно-часової надлишковості вдалося одержати додаткову інформацію не тільки

про вимірювані сигнали, але й про поточні розміри похибок. Останнє дозволило як автоматично виключити похибку з результату вимірювання, так і підналагоджувати параметри РС до зникнення похибки [25]. Виконання РС забезпечило домінування коригуючого впливу на основі високочутливих широкосмугових, але нестабільних елементів. Використання математичних операцій в тракті періодичного порівняння з аналоговими сигналами дозволило створити високочастотні РС різниці, відношення і відносної різниці двох електричних величин, що відкрило шлях для автоматизації вимірювання функціональних залежностей і характеристик НВЧ-сигналів [26]. В той же час модуляційні методи застосовані в основному в більш низьких та середніх частинах даного діапазону частот.

В наслідок одноканальності схем періодичного порівняння, неминучі зміни параметрів елементів схеми, які викликані процесами їх старіння і зносу, не викликають появи адитивної похибки в передачі вимірювальної інформації. В цих схемах також значно ослаблений вплив мультиплікативних похибок, якщо використовуються зрівноважуючи перетворення сигналів, або можливе застосування глибокого від'ємного зворотного зв'язку по вимірюваній величині. Якщо в одноканальній схемі відсутні триполюсні елементи, то головним джерелом похибок від неідентичності і нестабільності параметрів елементів може бути тільки комутаційно-модуляційний перемикач, в якому перетворюються два безперервні сигнали в один вихідний модульований.

Другим джерелом похибки схем періодичного порівняння можуть бути недоліки процесу комутації електричних величин. Основні фактори, що викликають комутаційні похибки, – це поява в спектрі вихідного сигналу комутаційно-модуляційного перемикача комбінаційних частот, кратних частоті комутації, зміщення пакетів сигналів після перемикача відносно нульової лінії, зміна тривалості вихідних імпульсів амплітудного або фазового детектора.

Третім джерелом похибки є перехідні процеси, які з'являються в одноканальній схемі навіть при ідеальній комутації і викликають появу інтерференційних похибок при накладанні одного процесу на інший [19]. Інтенсивність і тривалість цих процесів визначається наявністю інерційних елементів в перетворювальному тракті (ємності, індуктивності, трансформатори і т.п.) і смугового пропускання підсилювачів, фільтрів і інших пристроїв в цьому тракті, які мають нерівномірні частотні характеристики. Ці процеси неминучі навіть при ідеальній комутації сигналів і їх характер визначається початковими умовами величин, які перемикаються в моменти комутації.

Хоч вказані вище похибки значно менші похибки від неідентичності елементів двоканальних схем одночасного порівняння, необхідно їх враховувати при оцінці реального виграшу по точності при переході від двоканальних схем одночасного порівняння до одноканальних схем періодичного порівняння.

Необхідно аналізувати ці джерела похибок і визначати умови їх мінімізації. В окремих випадках можлива навіть повна компенсація цих похибок. Це можливо при застосуванні схемотехнічних рішень, коли досягається «безрозривна» комутація [19].

При комутаційно-модуляційному перетворенні низькоінтенсивних сигналів суттєвий вплив починають мати власні шуми комутуючих елементів, зокрема, теплові, а також шуми і наводки підсилювачів і інших масштабних перетворювачів одноканальних трактів. Для боротьби з шумами і завадами приходиться знову переходити до двоканальних схем зрівноважування, але з комутаційними перетворювачами сигналів в кожному з каналів [20]. Таке апаратурне ускладнення оправдано коли необхідно підвищити швидкодію схеми періодичного порівняння.

Похибки комутаційно-модуляційних перемикачів виникають не через відмінність реальних параметрів від ідеальних, а через неідентичність і несиметрію коефіцієнтів передачі по двох входах і спільним виходом. Таким чином, двоканальність самого комутаційно-модуляційного перемикача обумовлює похибки, що пов'язані з неідентичністю коефіцієнтів передачі відкритих ключів перемикача і з взаємним впливом його каналів.

Однак варто розуміти, що при вимірюванні низькоінтенсивних НВЧ-сигналів за рівнем потужності порівнянних і навіть менших рівня паразитних перешкод, які, крім того, однорідні й статистично нерозрізнені як випадкові процеси, можуть виникати значні похибки [27], [28]. Цим пояснюються зростаючі вимоги до точності і чутливості РС, розробці спеціальних методів і способів, що дозволяють прийняти дуже малий, найчастіше випадковий, корисний сигнал, відокремити його від перешкоди і виміряти [14], [29], [30].

Великий внесок у даний напрямок досліджень внесли українські вчені д.т.н., проф. Ю.О. Скрипник , д.т.н., проф. О.П. Яненко , д.т.н., проф. В.П. Манойлов , д.т.н., проф. Ю.Б. Гімпилевич , д.т.н., проф. М.А. Філінюк , д.т.н., проф. П.П. Орнатский і ін.

Однак, не дивлячись на великий об'єм виконаних наукових розробок, промисловістю як і раніше випускається радіометрична апаратура, яка ще не повною мірою задовольняє зацікавлених замовників по зазначених технічних характеристиках. Рішення спеціальних науково-технічних, дослідницьких завдань постійно потребує застосування високочутливих нестандартизованих РС [31], [32].

Оцінюючи загальний стан проблем, що пов'язані із створенням РС НВЧ-діапазону з періодичним порівнянням сигналів, слід вказати, що не дивлячись на значні досягнення в опрацюванні даних напрямків, достатньо проблемними залишаються питання вимірювання низькоінтенсивних сигналів, порівнянних і навіть менших рівня власних шумів вхідних елементів, використання в цих умовах математичного і комп'ютерного моделювання й оптимізації для покращення характеристик вимірювальних перетворювачів [33-38], розробки деяких структурно-алгоритмичних методів поліпшення метрологічних характеристик РС (підвищення точності, чутливості, швидкодії, динамічного діапазону, розширення робочого діапазону довжин хвиль і ін.) у діапазоні 1-300 ГГц, створення загальних підходів до проектування вхідних мікрохвилевих вузлів [39-41].

В НВЧ-діапазоні є особливості, частина яких розглянута та вирішена в [40], що однак недостатньо для подальшого розвитку подібної техніки. Тому, в наслідок не опрацьованності в повній мірі таких проблем, потрібно розроблення концепції вимірювання і перетворення параметрів низькоінтенсивних шумових сигналів НВЧ-діапазону методами періодичного порівняння, розроблення нових ефективних алгоритмів підвищення чутливості та завадостійкості вимірювальних радіометричних приладів з супергетеродинним перетворенням сигналу, в тому числі теоретичного аналізу ефективності перемноження випадкового і гармонійного сигналів, математичного моделювання спектра потужності випадкових сигналів на виході змішувача радіометра [11], [41-43]. В результаті реалізації перерахованих заходів можна очікувати підвищення точності, швидкодії та чутливості. Важливим для проектування РС є підвищення точності вимірювання параметрів низькоінтенсивних сигналів НВЧ-діапазону методами періодичного порівняння, інтенсивність яких близька і навіть менше власних шумів РС, що відкриє нові можливості в питаннях радіовимірювань.

Зазначені вище обставини дають підстави вважати, що дана тематика досліджень є актуальною для радіометричних вимірювань низькоінтенсивних сигналів НВЧ-діапазону методами періодичного порівняння в галузі сучасної радіо- та біофізики в частині, що пов'язана з розвитком радіометричних методів у дослідженнях фізичних та біологічних об'єктів.

Висновки

Таким чином, розглянуті проблеми є актуальні для радіометричних вимірювань низькоінтенсивних сигналів НВЧ-діапазону методами періодичного порівняння.

У наслідок недостатнього опрацювання даних проблем, з урахуванням специфіки прикладних завдань, потрібно:

– удосконалення теорії вимірювання і перетворення параметрів низькоінтенсивних сигналів НВЧ-діапазону методами періодичного порівняння;

– розроблення нових ефективних алгоритмів підвищення чутливості та завадостійкості вимірювальних радіометричних приладів, в тому числі теоретичного аналізу ефективності перемноження випадкового і гармонійного сигналів при супергетеродинному перетворенні;

– математичне моделювання вхідних елементів та спектра потужності на виході змішувача радіометра в умовах перетворення низькоінтенсивних сигналів НВЧ-діапазону.

В результаті реалізації перерахованих заходів можна очікувати підвищення точності, швидкодії та чутливості РС.

Список літератури

1. Измерения на миллиметровых и субмиллиметровых волнах / Валитов Р.А., Скресанов В.Н., Фисун А.И. и др. ; под ред. Р. А. Валитова, Б. И. Макаренко. – М.: Радио и связь, 1984. – 296 с.
2. Yansen I.A. Precision Measurement of Bach Scatterring cross section as a Function of Frequency / I.A. Yansen // IEEE Trans on Instrumentation and Measurement. – 1976. – Vol. 25. – № 4. – P. 363-370.
3. Есепкина.Н.А. Радиотелескопы и радиометры / Н.А. Есепкина., Д.В. Корольков, Ю.Н. Парийский. – М. : Наука, 1972. – 416 с.
4. Николаев А.Г. Радиотеплолокация / А.Г. Николаев, С.В. Перцов – М. : Изд. Сов. Радио, 1964. – 335 с.
5. Саватеев А.В. Шумовая термометрия / Саватеев А.В. – Л.: Энергоатомиздат. Ленинградское отделение. 1987. – 132 с.
6. Головко Д.Б. Методи і засоби частотно-дисперсійного аналізу речовин та матеріалів: Фізичні основи / Д.Б. Головко , Ю.О. Скрипник – К. : ФАДА, ЛТД, 2000. – 200 с.
7. СВЧ-энергетика. Применение энергии сверхвысоких частот в медицине, науке и технике / под ред. Э. Окресса ; перевод с англ. под ред. Э. Д. Шлифера : в 3-х т. . – М. : Мир, 1971. – Т. 3. – 248 с.
8. Девятков Н. Д. Миллиметровые волны и их роль в процессах жизнедеятельности / Н. Д. Девятков, М.Б. Голант, О.В .Бецкий – М. : Радио и связь, 1991. – 182 с.
9. Брандт А.И. Исследование диэлектриков на сверхвысоких частотах / Брандт А.И. – М.: Физматгиз, 1963. – 404 с.
10. Радиоизмерительная аппаратура СВЧ и КВЧ. Узловая и элементная базы / [Кудрявцев А.М., Львов А.Е., Мальтер И.Г., Павловский О.П., Шумилов В.А., Щитов А.М.]. – М. : Радиотехника. – 2006.
11. Скрипник Ю.О. Модуляційні радіометричні пристрої та системи НВЧ-діапазону: навчальний посібник / Ю.О. Скрипник, В.П. Манойлов , О.П. Яненко – Житомир : ЖІТІ, 2001. – 374 с.
12. Головко Д.Б. Надвисокочастотні методи та засоби вимірювання фізичних величин / Д.Б. Головко, Ю.О. Скрипник, О.П. Яненко – К. : Либідь, 2003. – 328 с.
13. Рытов С. М. Теория электрических флюктуаций и теплового излучения / Рытов С.М. – М. : Изд-во АНСССР, 1953. 470 с.
14. Микроволновая радиометрия физических и биологических объектов / [Скрипник Ю.А., Яненко А.Ф., Манойлов В.П., Куценко В.П., Гимпилевич Ю.Б.]. – Житомир : Волынь, 2003. – 408 с.
15. Билько М.И. Измерение мощности на СВЧ / М.И. Билько, А.К. Томашевский. – М. : Радио и связь, 1986. – 167 с.
16. Вальднер О.А Техника сверхвысоких частот . Учебная лаборатория / О.А. Вальднер, О.С. Милованов , Н.П. Собенин – М. : Сов. радио, 1967. – 424 с.
17. Головко Д.Б. Модуляційні НВЧ-вимірювачі електричних та неелектричних величин : Наукове видання / Д.Б. Головко, Ю.О. Скрипник , О.П. Яненко – К. : „МП Леся”, 2001. – 232 с.

18. Валитов Р.А. Радиотехнические измерения. Методы в технике измерений в диапазоне от длинных до оптических волн / Р.А. Валитов, В.Н. Сретенский – М. : Сов. радио, 1970. – 712 с.
19. Скрипник Ю.О. Проектування засобів вимірювання з періодичним порівнянням: книга 1 – Структура і похибки : навч. посібник / Ю.О. Скрипник, М.О. Пресенко, В.О. Дубровний – Київ, 1997. – 163 с.
20. Скрипник Ю.О. Проектування засобів вимірювання з періодичним порівнянням: книга 3 – Вимірювання із зрівноважуючим перетворенням.: Навч. посібник / Ю.О. Скрипник, М.О. Пресенко, В.О. Дубровний. – Київ : КНУТД, 2008. – 267 с.
21. Орнатский П.П. Теоретические основы информационно-измерительной техники / Орнатский П.П. – К. : Вища школа, 1983. – 455 с.
22. Орнатский П.П. Измерительные приборы периодического сравнения / П.П. Орнатский, Ю.А. Скрипник , В.И. Скрипник – М. : Энергия, 1975. – 231 с.
23. Скрипник Ю.А. Методы преобразования и выделения измерительной информации из гармонических сигналов / Скрипник Ю.А. – К. : Наукова думка, 1971. – 276 с.
24. Датчики измерительных систем : в 2 кн./ Аш Ж. и др. ; пер. с франц. – М. : Мир, 1992. – 480 с.
25. Скрипник Ю.А. Частотные методы контроля параметров технологических процессов / Ю.А. Скрипник, Л.А. Глазков – К. : УМК ВО, 1991. – 176 с.
26. Юрченко Ю.П. К вопросу синтеза измерительно-вычислительных преобразователей переменных напряжений / Ю.П. Юрченко, Ю.А. Скрипник // Известия вузов. Приборостроение. – 1973. – № 6.
27. Яненко О.П. Основні принципи побудови високочутливих комутаційно – модуляційних радіометрів міліметрового діапазону / О.П. Яненко // Вісник ЖІТІ. – 1998. – № 8. – С. 111-118.
28. Левин М.Л. Теория равновесных тепловых флуктуаций в электродинамике / М.Л. Левин , С.М. Рытов – М. : Наука, 1967. – 308 с.
29. Головко Д.Б. Модуляційні НВЧ-вимірювачі електричних та неелектричних величин / Д.Б. Головко, Ю.О. Скрипник , О.П. Яненко – К. : МП „Леся”, 2001. – 232 с.
30. . Ближнее тепловое поле и возможности его использования для глубинной температурной диагностики сред / Вакс В.Л., Гайкович К.П. и др // Изв. ВУЗов. – Радиофизика. – 2002. – Т. 14. № 1. – С. 8.
31. Скрипник Ю.О. Оцінка похибки модуляційного перетворювача в режимі перемикача / Ю.О. Скрипник, О.П. Яненко // Вісник національного университету „Львівска політехніка”. – 2002. – № 445 «Автоматика, вимірювання та керування». – С. 42-45.
32. .Підвищення вірогідності результатів вимірювань радіометричних систем медико-біологічного призначення / [Скрипник Ю.О., Яненко О. П., Шевченко К.Л., Перегудов С.Н., Куценко В.П] // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах : зб. наукових праць. – № 2. – Хмельницький, 2003. – С. 61- 64.
33. Гилл Ф. Практическая оптимизация: Пер. с англ. / Ф. Гилл, У. Мюррей, М. Райт. – Москва : Мир, 1985. – 509 с.
34. проектирования радиоэлектронных средств / [Алексеев О.В., Головков А.А., Пивоваров И.Ю., Чавка Г.Г.] Автоматизация – М. : Высш. шк., 2000. – 480 с.
35. Проектирование интегральных СВЧ устройств. Справочник / [Ю.Г. Ефремов, В.В. Конин, Солганик и др.] – К. : Техника, 1990. – 159 с.
36. Воробьев Е.А. Расчет производственных допусков устройств СВЧ / Воробьев Е.А. – Л. : Судостроение, 1980. – 147 с.
37. Frautchi M.A. Capacitance Measurements of Double-Sided Silicon Microctrip Detectors. CDF/DOC VTX/ CDF/2546 / M.A. Frautchi, H.R. Hoeferkamp, S.C. Seidel // The New Mexico Center for Particle Physics, Albuquerque. – 1995. – 62 p.
38. Шило Г.Н. Компенсация и оптимизация при назначении номинальных допусков / Г.Н. Шило, А.А. Намлинский, Н.П. Гапоненко // Радиоэлектроника и информатика. – 2004. – № 2.
39. Кириленко А.А. Системы электродинамического моделирования СВЧ-КВЧ устройств / А.А. Кириленко, В.И. Ткаченко // Изв. вузов. Радиоэлектроника. – 1996. – 39, № 9. – С. 17-28.
40. Куценко В.П. Методы и средства сверхвысокочастотной радиометрии / Куценко В.П., Скрипник Ю.А., Трегубов Н.Ф., Шевченко К.Л., Яненко А.Ф. – Донецк: ІПШІ «Наука і освіта», 2011. – 324с.
41. Куценко В.П. Радіометричний НВЧ-контроль властивостей матеріалів / Куценко В.П., Скрипник Ю.О., Трегубов М.Ф., Шевченко К.Л. – Донецк: ІПШІ «Наука і освіта», 2012. – 367с.
42. Куценко В.П. Теоретический анализ эффективности перемножителя случайного и гармонического сигналов / В.П. Куценко, С.П. Сергиенко // Штучний інтелект. – 2011. – № 1 – С. 229-235.
43. Куценко В.П. Анализ спектра мощности случайных сигналов на выходе смесителя радиометра крайне высокой частоты / В.П. Куценко, С.П. Сергиенко // Штучний інтелект. – 2010. – №. 4. – С.229-235.

References

1. Valitov R. A., Skresanov V. N., Fisun A. I. i dr. Izmereniya na millimetrovyh i submillimetrovyh volnah / Pod red. R. A. Valitova, B. I. Makarenko. – M.: Radio i svyaz, 1984. – 296 s.
2. I.A.Yansen Precision Measurement of Bach Scatterring cross section as a Function of Frequency.//IEEE Trans on Instrumentation and Measurement. – 1976. – v. 25. – № 4. – p. 363–370.
3. Esepkina.N.A., Korolkov D.V., Pariyskiy Yu.N. Radioteleskopy i radiometry. – M.: Nauka, 1972. – 416 s.
4. Nikolaev A. G., Pertsov S. V. Radioteplolokatsiya. – M.: Izd. Sov. Radio, 1964. – 335 s.
5. Savateev A.V. the Noise thermometery. – L.: Energoatomizdat. Leningrad separation. 1987. – 132 p.
6. Golovko D.B., Skripnik Yu.O Metodi I zasobi chastotno-dispersIynogo analIzu rechovin ta materIalIv: FIzichnI osnovi. – K.: FADA, LTD, 2000. – 200 s.
7. SVCh-energetika. Primenenie energii sverhvyisokih chastot v meditsine, nauke i tehnike / Pod red. E. Okressa. V 3-h t. Perevod s angl. pod red. E. D. Shlifera. – M.: Mir, 1971. – T. 3. – 248 s.
8. Devyatkov N. D., Golant M. B., Betskiy O. V. Millimetrovyie volnyi i ih rol v protsessah zhiznedeyatelnosti. – M.: Radio i svyaz, 1991. – 182 s.
9. Brandt A.I. Issledovanie dielektrikov na sverhvyisokih chastotah. – M.: Fizmatgiz, 1963. – 404 s.
10. Kudryavtsev A.M., Lvov A.E., Malter I.G., Pavlovskiy O.P., Shumilov V.A., Schitov A.M. Radioizmeritelnaya apparatura SVCh i KVCh. Uzlovaya i elementnaya bazyi. – M.: Radiotehnika. – 2006.
11. Skripnik Yu.O., Manoylov V.P., Yanenko O.P. ModulyatsIynI radIometrichnI pristroYi ta sistemi NVCh-dIapazonu: Navchalniy posIbnik. – Zhitomir: ZhITI, 2001. – 374 s.
12. Golovko D.B., Skripnik Yu.O., Yanenko O.P. NadvisokochastotnI metodi ta zasobi vimIryuvannya fIzichnih velichin. – K.: LibId, 2003. – 328 s.
13. Ryitov S. M. Teoriya elektricheskih flyuktuatsiy i teplovogo izlucheniya. – M.: Izd-vo ANSSSR, 1953. 470 s.
14. Skripnik Yu.A., Yanenko A.F., Manoylov V.P., Kutsenko V.P., Gimpilevich Yu.B. Mikrovolnovaya radiometriya fizicheskih i biologicheskih ob'ektov. – Zhitomir: „Volyin", 2003. – 408 s.
15. Bilko M.I., Tomashevskiy A.K. Izmerenie moschnosti na SVCh. – M.: Radio i svyaz, 1986. – 167 s.
16. Valdner O.A., Milovanov O.S., Sobenin N.P. Tehnika sverhvyisokih chastot. Uchebnaya laboratoriya. – M.: Sov. radio, 1967. – 424 s.
17. Golovko D.B., Skripnik Yu. O., Yanenko O. P. ModulyatsIynI NVCh-vimIryuvachI elektrichnih ta neelektrichnih velichin. – Naukove vidannya. – K.: „MP Lesya", 2001. – 232 s.
18. Valitov R.A., Sretenskiy V.N. Radiotehnicheskie izmereniya. Metodyi v tehnike izmereniy v diapazone ot dlinnyih do opticheskih voln. – M.: Sov. radio, 1970. – 712 s.
19. Yu.O. Skripnik, M.O. Presenko, V.O. Dubrovniy Proektuvannya zasobIv vimIryuvannya z perIodichnim porIvnyannyam: kniga 1 – Struktura I pohibki: Navch. posIbnik/ – KiYiv: 1997. – 163 s.
20. Yu.O. Skripnik, M.O. Presenko, V.O. Dubrovniy Proektuvannya zasobIv vimIryuvannya z perIodichnim porIvnyannyam: kniga 3 – VimIryuvannya Iz zrIvnovazhuyuchim peretvorennyam.: Navch. posIbnik/ – KiYiv: KNUTD, 2008. – 267 s.
21. Ornatskiy P.P. Teoreticheskie osnovyi informatsionno-izmeritelnoy tehniki. – K.: Vischa shkola, 1983. – 455 s.
22. Ornatskiy P.P., Skripnik Yu.A., Skripnik V.I. Izmeritelnyie priboryi periodicheskogo sravneniya. – M.: Energiya, 1975. – 231 s.
23. Skripnik Yu.A. Metodyi preobrazovaniya i vyideleniya izmeritelnoy informatsii iz garmonicheskih signalov. – K.: Naukova dumka, 1971. – 276 s.
24. Ash Zh. i dr. Datchiki izmeritelnyih sistem: v 2-h knigah / per. s frants. – M.: Mir, 1992. – 480 s.
25. Skripnik Yu.A., Glazkov L.A. Chastotnyie metodyi kontrolya parametrov tehnologicheskih protsessov. – K.: UMK VO, 1991. – 176 s.
26. Yurchenko Yu.P., Skripnik Yu.A. K voprosu sinteza izmeritelno-vyichislitelnyih preobrazovateley peremennyih napryazheniy // Izvestiya vuzov. Priborostroenie, 1973, #6.
27. Yanenko O.P. OsnovnI printsipi pobudovi visokochutlivih komutatsIyno – modulyatsIynih radIometrIv mIlImetrovogo dIapazonu // VIsnik ZhITI. – 1998. – #8. – S. 111-118.
28. Levin M. L., Ryitov S. M. Teoriya ravnovesnyih teplovyih fluktuatsiy v elektrodinamike. – M.: Nauka, 1967. – 308 s.
29. Golovko D. B., Skripnik Yu. O., Yanenko O. P. ModulyatsIynI NVCh-vimIryuvachI elektrichnih ta neelektrichnih velichin. – K.: MP „Lesya", 2001. – 232 s.
30. Vaks V.L., Gaykovich K.P. i dr. Blizhnee teplovoe pole i vozmozhnosti ego ispolzovaniya dlya glubinnoy temperaturnoy diagnostiki sred// Izv. VUZov. – Radiofizika. – 2002. – T. 14. #1. – S. 8.
31. Skripnik Yu. O., Yanenko O. P. OtsInka pohibki modulyatsIynogo peretvoryuvacha v rezhimI peremikacha // VIsnik natsIonalnogo universitetu „LvIvska polItehnIka", #445 „Avtomatika, vimIryuvannya ta keruvannya". – 2002. – S. 42-45.

32. Skripnik Yu.O., Yanenko O. P., Shevchenko K.L., Peregudov S.N., Kutsenko V.P. PIdvischennya vIrogIdnostI rezultatIv vimIryuvan radIometrichnih sistem mediko-bIologIchnogo priznachennya // VimIryuvalna ta obchislyuvalna tehnIka v tehnologIchnih protsesah: ZbIrnik naukovih prats #2. – Hmelnitskiy, 2003. – S.61- 64.
33. Gill F., Myurrey U., Rayt M. Prakticheskaya optimizatsiya: Per. s angl. – Moskva: Mir, 1985. – 509 s.
34. Alekseev O.V., Golovkov A.A., Pivovarov I.Yu., Chavka G.G. Avtomatizatsiya proektirovaniya radioelektronnyih sredstv – M.: Vyissh. shk., 2000, 480 s.
35. Proektirovanie integralnyih SVCh ustroystv. Spravochnik / Yu. G. Efremov, V. V. Konin, Solganik i dr. – K.: Tehnika, 1990. – 159 s.
36. Vorobev E.A. Raschet proizvodstvennyih dopuskov ustroystv SVCh. L. "Sudostroenie" 1980. – 147 s.
37. Frautchi M.A., Hoeferkamp H.R., Seidel S.C. Capacitance Measurements of Double-Sided Silicon Microctrip Detectors. CDF/DOC VTX/ CDF/2546. – The New Mexico Center for Particle Physics, Albuquerque, 1995, 62 p.
38. Shilo G.N., Namlinskiy A.A., Gaponenko N.P. Kompensatsiya i optimizatsiya pri naznachenii nominalnyih dopuskov // Radioelektronika i informatika. 2004. #2
39. Kirilenko A. A., Tkachenko V. I. Sistemyi elektrodinamicheskogo modelirovaniya SVCh-KVCh ustroystv // Izv. vuzov. Radioelektronika. – 1996. – 39, # 9. – C. 17-28.
41. Kutsenko V.P. Metodyi i sredstva sverhvyisokochastotnoy radiometrii / Kutsenko V.P., Skripnik Yu.A., Tregubov N.F., Shevchenko K.L., Yanenko A.F. – Donetsk: IPShI «Nauka I osvIta», 2011. – 324s.
42. Kutsenko V.P. RadIometrichniy NVCh-kontrol vlastivostey materIalIv / Kutsenko V.P., Skripnik Yu.O., Tregubov M.F., Shevchenko K.L. – Donetsk: IPShI «Nauka I osvIta», 2012. – 367s.
43. Kutsenko V.P., Sergienko S.P. Teoreticheskiy analiz effektivnosti peremnozhitelya sluchaynogo i garmonicheskogo signalov // Naukovo-teoretichniy zhurnal „Shtuchniy Intelekt" – Vip. 1/2011. – Donetsk. Institut problem shtuchnogo Intelektu MON I NAN UkraYini, 2011. – S.229–235.
44. Kutsenko V.P., Sergienko S.P. Analiz spektra moschnosti sluchaynyih signalov na vyihode smesitelya radiometra krayne vyisokoy chastotyi // Naukovo-teoretichniy zhurnal „Shtuchniy Intelekt" – Vip. 4/2010. – Donetsk. Institut problem shtuchnogo Intelektu MON I NAN UkraYini, 2010. – S.229–235.

RESUME

V.P. Kutsenko

Conceptual Problems of the Aerophare Measuring of Low Intensive over High-Frequency Signals with Periodic Comparison

Considered conceptual problems radiometric measurements of low-intensity microwave signals based on scientific publications domestic and foreign scholars. Analysis is performed for radiometric systems with different conversion methods and measurement of signals: kompensatsiynim, modulyatsiynim, korelyatsiynim. Studied single-channel, dual-channel, multi-channel measuring microwave systems, which use methods of comparison, the direct and indirect measurement of distance and removal of contact information receiving antennas and etc. The advantage of radiometric measurement methods of low-intensity microwave signal with a periodic comparison.The sources of errors of measuring of signals comparable and even less level of own noises of entrance elements of radiometers are investigational. It is certain that at interconnect-modulation transformation low of intensive signals substantial influence is rendered by own noises of elements, in particular, thermal, and also noises and aiming of strengtheners and other scale transformers one channel highways. In investigation of the insufficient working in radiometry of problems of periodic comparison low intensive over high-frequency signals, taking into account the specific of the applied tasks, the improvement of theory of measuring and transformation of parameters of these signals is required.

Стаття надійшла до редакції 21.04.2014.